€ 穖 ধ 盐 华 噩 ধ 2 (16)日本国格群庁 (JP)

格開2000-98433 (11)特許出國公開番号

(P2000-98433A)

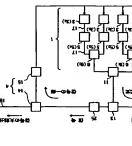
(43)公開日 平成12年4月7日(2000.4.7)

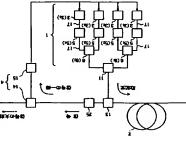
(51) Int CL1	40000	FI	チャロート・(参考)
G02F 1/35	501	G02F	1/35 5 0 1
H01S 5/026		H01S	3/18 6 1 6
3/30			z 2 05/8
H04B 10/17		H04B	ſ 00/6
10/16			
		特別部分	審査請求 未酵求 関求項の数35 〇L(全 24 頁)
(21)出取番号	传即 平11-34833	(71)出國子	(71)出間人 000005290
			古河電気工業株式会社
(22) 出題日	平成11年2月12日(1999.2.12)		東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
		(72) 発明者	江森 芳草
(31)優先権主張各号	体配平10-208450		東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
(32)優先日	平成10年7月23日(1998.7.23)		河電気工業株式会社内
(33)優先権主張国	B本(JP)	(72) 発明者	赤板 祥一
			東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
			柯德姓工兼株式会社内
		(72) 発明者	對木 頭
			東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
			这篇與二樣株式会社內
		(74)代理人	100076369

(ba) [史版の名称] ッマンお鹿路とそれを用いた光中籍路

1ルタを使用する必要がない程度に利得の波長依存性を 「課題】 必要な利得を得ることができ、利得平坦化フ 小さくすることができ、EDFAの帯域でも使用するこ とができるラマン増幅器を提供する。

即共振器が接続されたものを使用する。又レーザの中心 険出する手段又は各励起光概による利得が最大となる波 【解決手段】 半導体レーザ3はファブリベロー型のも 彼長の間隔が6nm 以上35nm以下、中心被長の最大値と最 長の信号光出力パワーを検出する手段を持ち、パワーを 一定値に保つよう各励起光源の駆動電流を制御する手段 よりも約100mm 短い波長帯の励起光を光中棋器の構成要 素となっているDG に入射する手段をもつ。増幅器1 と のでファイバグレーティング等の発振波長安定化用の外 小街の췊は100vm 以内とする。各励起光の出力パワーを 4を持つ。中雄器へ応用する場合は中棋器の信号波長帯 CF 入力の中間と増信器2 とDCF 出力の中間に信号光を モニタする手段や励起光のパワーを調節する手段等をも





(特許粒状の範囲)

を合波して当該信号光にラマン利得を与えるラマン増幅 器であって、前記励起光発生手段(1)はファブリベロ ー型、DFB 型、DBR 型の半導体レーザ又はMDPA (3)を 用いて構成し、各励起光はその中心波長を互いに異なる (1)を備え、同励超光発生手段(1)から出力される ものとし、且つ中心彼長の間隔を6nm 以上35nm以下とす 複数の励起光と光ファイバ (2) に伝播される信号光と 【請求項1】複数の励起光を発生する励起光発生手段 ることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項2】複数の励起光は中心液長が最大のものと最 小のものとの波長の遊を100m 以内とすることを特徴と する請求項1に記載のラマン増幅器

【請求項3】励起光発生手段(1)は隣り合う彼長の励 て信号光を双方向励起する構成であることを特徴とする 超光を光ファイバ(2)に互いに異なる2 方向に伝播し **請求項1又は請求項2に配載のラマン増幅器**

に隣接波長の励起光が入らない様にして夫々のグループ [請求項4] 励起光発生手段(1)は複数の励起光を2 内で励起光を合波する構成とし、グループ内で合波され た2つの励起光を光ファイバ(2)に互いに異なる2方 向に伝播する様にしたことを特徴とする耐求項3 に配載 **つのグループに分けて配置すると共に、同一グループ内** のシャンな幅器

【請求項5】入力光又は出力光をモニタし、その結果に **基づいて励起光発生手段(1)の各励起光パワーを制御** 段(4)を備えることを特徴とする請求項1乃至請求項 して、出力光パワーを所定値に保つ出力光パワー制御手 4のいずれかに記載のラマン増幅器。

> 四 ¥ **护理士**

[請求項6] 出力光をモニタし、その結果に基づいて励 (4)を備えることを特徴する請求項1乃至請求項5の **起光発生手段(1)の各励起光パワーを制御して、増幅** 器出力の波長依存性を平坦化する出力光パワー制御手段 いずれかに記載のラマン増幅器。

ら分岐したモニタ光を各励超光の波長に各々約100m を 【闘求項7】出力光パワー制御手段(4)は、出力光か 加えた波母の波母光に分波してそれら波母光をモニタ し、各波長光のパワーを揃える様に励起光発生手段

(1)の各励起光パワーを制御するものであることを特 【醋水項8】出力光パワー制御手段(4)は、出力光か れらから各励起光の波長に各々約100mm を加えた波長光 5分岐したモニタ光を更に励起光と同数に分配して、そ を透過させて各波長光をモニタし、各波長光のパワーを 揃える様に励起光発生手段(1)の各励起光パワーを制 御するものであることを特徴とする請求項5又は請求項 散とする鯖木項5又は鯖木項6に記載のラマン増幅器。

の各励起光パワーを制御して、利得を所定値に保つ出力 し、それらの比が一定になる様に励起光発生手段(1) 【静求項9】入力光パワーと出力光パワーとをモニタ

存職2000-98433

3

光パワー制御手段(4)を備えることを特徴とする闘求 項1乃至請求項8のいずれかに記載のラマン増幅器。

ング等の被長安定化用の外部共振器(5)を散けて構成 することを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれか 【醋水項10】励起光発生手段(1)はファブリベロー 型の半導体レーザ(3)の出力倒にファイバグレーティ に記載のシャン増幅器。 【群來項】 1】 励起光発生手段(1)はファブリベロー

るための偏波合成器(8)を設けて構成することを特徴 とした精求項1乃至請求項10のいずれかに記載のラマ 【請求項12】励起光発生手段(1)は、マッハツェン 型の半導体レーザ(3)の出力側に励起光を偏波合成す 유

て構成することを特徴とする請求項1乃至請求項11の ダ干渉計を原理とする平面光波回路型波長合波器を設け いずれかに記載のシャン増幅器。

【 請求項 1 3 】 偏波面を90度回転する偏波面回転手段 (1)を備え、光ファイバ (2) に励起光発生手段

(7)により個波面が50度回転された前記各励起光と伽 とを特徴とする請求項1乃至請求項12のいずれかに記 (1) で発生された複数の励起光と前配偏波面回転手段 彼面が直交される励起光とが同時に存在する様にしたこ 数のシャン増加路。 2

【請求項14】増幅用の光ファイバ(2)は非線形屈折 率n2が3.5E-20 [m2 / W] 以上であることを特徴とする 請求項1乃至請求項13のいずれかに記載のラマン増幅

【間水項16】増塩用のファイバ (2) としてSMF と-2 0/ps/rm/km未満の分散を持つファイバを用いることを特 卸として存在するものであることを特徴とする請求項1 【群求項15】増幅用の光ファイバ(2)が伝送路の-乃至請求項 1 4 のいずれかに記載のラマン増幅器。 റ്റ

C、-20/bs/rm/a未満の分散を持つファイバから3/F へ 【韻水項17】請水項16に記載のラマン増幅器におい 向って励起光が伝播することを特徴とするラマン増幅

散とする静水項1乃至請水項15のいずれかに配載のラ

【翻求項18】増幅用の光ファイバ(2)が信号光を伝 同伝送用ファイバ中に挿入可能なラマン増幅用ファイバ として存在するものであることを特徴とする請求項1乃 **指するための伝送用ファイバから独立したものであり、** 至請求項14のいずれかに記載のラマン増幅器。 5

推器であって、請求項1乃至請求項18のいずれかに記 【静水項19】光ファイバ伝送路(8)中に挿入されて 司光ファイバ伝送路(8)における損失を補償する光中 で光ファイバ伝送路(8)における損失を補償すること 載のラマン増幅器(8)を備え、同ラマン増幅器(8) を特徴とする光中棋器。

【請求項20】請求項19に記載の光中機器において、

ន

多機能印刷 FinePrint 2000 試用版 http://www.nsd.cojp/share/

€

(8) に入射し、光ファイバ伝送路(8)におけるラマ ラマン増幅器(8)の残留励起光を光ファイバ伝送路 ン増幅効果を利用することを特徴とする光中維器。

類添加ファイバ増幅器(10)を備えることを特徴とす ラマン増幅器(8)の前段又は後段又は前後両段に希土 【請求項21】請求項19に記載の光中機器において、

ラマン増幅器(8)の残留励起光を希土類添加ファイバ **始幅器(10)の励起光として利用することを特徴とす** 【請求項22】請求項21に記載の光中機器において、

9

【静本項23】光ファイバ伝送路(8)中に挿入されて 同光ファイバ伝送路(8)における波長分散を補償する 光中雄器であって、請求項1乃至請求項18のいずれか (2) に分散補償用ファイバを用いて光ファイバ伝送路 (8) 及び光ファイバ (2) における損失の一部又は全 に記載のラマン増幅器(8)を備え、その光ファイバ (8) における波長分散を補償し、光ファイバ伝送路 てを補償することを特徴とする光中棋器。

(8) に入射し、光ファイバ伝送路(8)におけるラマ ン増幅効果を利用することを特徴とする請求項21に記 【静末項24】 請求項23に記載の光中機器において、

ラマン増幅器(9)の残留励起光を光ファイバ伝送路

ラマン増幅器(9)の前段又は後段又は前後両段に希土 質添加ファイバ増幅器(10)を備えることを特徴とす 【請求項25】請求項23に記載の光中整器において、 5光中雄器。

ラマン増幅器の残留励起光を希土類添加ファイバ増幅器 (10)の励起光として利用することを特徴とする光中 【請求項26】請求項25に記載の光中機器において、

8

る損失の変動を同光ファイバ (2) におけるラマン増幅 により補償して、当該光ファイバ (2) からの出力を所 定値に保つ制御手段を備えることを特徴とする開求項2 (2) への入力レベルの攻勢や回ファイバ (2) におけ 【請求項28】分散補償用ファイバである光ファイバ 【請求項27】分散補償用ファイバである光ファイバ 3乃至請求項26のいずれかに記載の光中様器。

(2) における損失又は利得を同光ファイバ (2) にお けるラマン増幅により補償して一定に保つ制御手段を備 えることを特徴とする請求項23乃至請求項26のいず

【請求項29】希土類添加ファイバ増幅器(10)の利 **機器の利得を調整する様にしたことを特徴とする請求項** 21、22、25、26、27、28のいずれかに記載 得を一定に保ち、ラマン増幅器(9)の利得によって中 れかに記載の光中棋器。 の光中推器。

身の波長依存性をラマン増幅器(9)の利得の波長依存 50 【請求項30】希土類添加ファイバ増幅器(10)の利

性を使って補償する様にしたことを特徴とする請求項2 1, 22, 25, 26, 27, 28, 290vJhm

記載の光中維器。

司光ファイバ伝送路(8)における損失と波長分散を補 貸する光中粧器であって、励起光の波長が単一であるラ マン増幅器(9)を備え、同シマン増幅器(8)の前段 0)を備えることを特徴とし、ラマン増幅器(9)の増 幅用の光ファイバ(2) に分散補償用ファイバを用いる 【請求項31】光ファイバ伝送路(8)中に挿入されて 又は後段又は前後両段に希土類添加ファイバ増幅器(1 ことを特徴とする光中構器。

シマン増幅器(9)の残留励起光を希土類添加ファイバ **岗幅器(10)の励起光として利用することを特徴とす** 【請求項32】請求項31に記載の光中權器において、 5光中整器。

マン増幅により補償して、当該光ファイバ (2) からの 【請求項33】請求項31又は請求項32に記載の光中 (2) における損失変動を同ファイバ (2) におけるラ **整器において、分散補償用ファイバであるラマン増幅用** の光ファイバ(2)への入力レベルの変動や同ファイバ 出力を所定値に保つ制御手段を備えることを特徴とする 【請求項34】請求項31又は請求項32に記載の光中 **整器において、分散補償用ファイバであるラマン増幅用** の光ファイバ(2)における損失又は利得を同ファイバ (2) におけるラマン増幅により補償して所定値に保つ **訓御手段を備えることを特徴とする光中推器。**

[請求項35] 請求項31又は請求項32に記載の光中 **椎器において、希土類添加ファイバ増幅器(10)の利** 得を一定に保ち、ラマン増幅器(9)の利得によって中 椎器の利得を調整する様にしたことを特徴とする光中椎

【発明の詳細な説明】

[0000]

を用いた光中機器に関するものであり、特に波長分割多 で信号光の増幅に使うことができるラマン増幅器とそれ 【発明の属する技術分野】本発明は各種光通信システム **重光の増幅に適するものである。**

である,特KEr(エルビウム)を添加したファイバを使 【従来の技術】現在の光ファイバ通信システムで使用さ れる光増幅器のほとんどは、希土類添加ファイバ増幅器 用するEr添加光ファイバ増幅器(以下、EDFAと記載す [0002] 9

長帯は1530mから1610m程度である。(参考文献:Elec EDFAは利得に波長依存性を持っており、波長分割多重光 図2 3はEDFAの利得波長依存性の一例を示したものであ るが、1540m以下と1560m以上では特に波長に対する利 る)がよく用いられる。しかし、EDFAの実用的な利得波 tron. Lett, vol.33, no.23, pp. 1967 - 1968) \sharp $t_{\rm c}$. に用いる場合、信号光の波長によって利得に差が出る。

得の変化が大きい。従って、そのような波長を含む帯域 全体で一定の利得 (大抵は利得偏差1dB 以内) を得るに は、利得平坦化フィルタを使用する。

イルも変わるので、この場合、最適な利得平坦化フィル されている場合には、EDFAの利得が変化すると平坦度が り、損失プロファイルは利得プロファイルとほぼ同じ形 をしている。但し、EDFAは図24に示す様に平均利得の タの損失プロファイルも変わる。従って、損失プロファ イルが固定的な利得補正フィルタによって平坦化が実現 【0003】利得平坦化フィルタは利得が大きい彼長の 大きさが変化すると曲線a、b、cの様に利得ブロファ 所で損失が大きくなるように設計されたフィルタであ

約100mm 長い波長と表現する。図25亿中心波長が1450 帯域では用いられていない。 これはラマン増幅器がEDFA と同等の利得を得るためにより大きい随起光パワーを必 ファイバに入射して利得を高めようとすると、励起光に [0004]一方、光増幅器には光ファイバのラマン散 乱を利用したラマン増幅器と呼ばれるものもある(参考 文献: Nonlinear Fiber optics, Academic Press), ,为 **超光を使用した場合を前提とし、約13Thz 低い周波数を** rmの励起光を用いたときの利得の波長依存性を示す。 C のとき利得のピークは1550nmであり、利得偏差1dB 以内 の帯域幅は20nm程度である。ラマン増幅器は励起光源さ え用意できれば、任意の波長を増幅することができるた め、EDFAで増幅する事のできない波長帯での使用が主に 検討されている。その一方、ラマン増幅器はEDFAの利得 要とするためてある。加えて、大きなパワーの励起光を ラマン増幅器の利用を蹴りくしている。特関平2-12 986号公報にはラマン増幅器での誘導ブリルアン散乱 マン増幅器は励起光の周波数よりも約13Thz 低い周波数 に利得のビークを持つ。以下の記述では、1400m指の励 よる誘導ブリルアン散乱が発生して雑音が増えるため、 を抑制する技術の一例が開示されている。

て、偏波依存性による利得の不安定性を低減する対策が を保存するファイバを用いるか、偏波状態がランダムな 有し、信号光に含まれる偏波成分の中で励起光の偏波と 【0005】また、ラマン増幅器は利得に偏波依存性を 求められるが、これには、増幅用ファイバとして偏波面 一致する成分に対してのみ増幅作用をもたらす。従っ 励起光顔を用いることが考えられている。

【0006】この他、ラマン増幅器は利得帯域の拡大も 必要とされており、この方法として、波長の異なる複数 【0001】他方、光ファイバ伝送路において発生する GFC98, PD-6)。しかしながら、利得偏差を1dB 以下に の励起光を利用することが考えられている(参考文献) 伝送損失と波長分散を同時に補償する光中雄器もあり、 するという観点での取り組みはなされていない。

あり、雑音特性に優れていることを特徴としている。第 2のEr添加ファイバ増幅器Cは分散補償ファイバAにお いて演費した光信号を再び高いレベルに増幅するもので ァイバAが2つのEr添加ファイバ増幅器B、Cで挟まれ た構成となっている。第1のEr添加ファイバ増幅器Bは 低レベルの信号光を比較的高いレベルに増幅するもので 構成である。図46はこの従来例であり、分散補償用フ あり、出力レベルが高いことを特徴としている。

は、1被伝送時には自己位相変調(SPM)効果、MDM 伝 て、その条件下で利得平坦度と雑音特性に優れた中継器 て、中様器入力レベル、中様器出力レベル、分散補償量 設定する必要があり、また、分散補償用ファイバAの入 すると、分散補償用ファイバA中での非線形効果の影響 る。 この分散補償用ファイバAへの入力パワーの上限値 送時には相互位相変調(XPM)効果が決定要因となって いる。以上、光中推器ではいくつかの変動要因を考慮し 【0008】ところで前記光中機器は、その設計に際し (分散補償用ファイバAにおける損失) の各々を適切に これは、分散補償用ファイバAへの入力パワーを大きく 力光レベルに上限値が存在するという制限項目もある。 が大きくなり、伝送波形の劣化が着しくなることによ を設計しなければならない。

分散補償用ファイバAへの入力上限値Pd [dB] の差に設 [0009]図47は中機器内部における光レベルダイ アグラムを示したものである。第1のEr添加ファイバ増 幅器Bの利得C1 [d8] は、中椎器入力レベルPin [d8]と 定される。第2のEr添加ファイバ増幅器Cの利得C2 [d BJ は、分散補償用ファイバAにおける損失Ld [dB]

器Bの利得は [dB] とからGr+Ld-G1 [dB] に設定され は、分散補償用ファイバAにおける損失Ld [dB] と深い 関係があり、損失が大きい程、維音特性が悪くなること 用ファイバAの損失のばらつきを、Er添加ファイバ増幅 器BやCの利得を変化させて補償したり、別途可変減衰 器等を設けて調整しているが、前者は利得平坦度を劣化 と、中椎器利得Cr [dB] と、第1のEr添加ファイバ増幅 て、Er添加ファイバ増幅器B、Cはシステム毎に再設計 する必要がある。このようなシステムにおける維音特性 が知られている。また、現在は伝送路の損失や分散補償 る。これらの設計バラメータはシステム毎代異なるた め、システム毎にG. [48]、G. [48] は異なり、従っ させ、後者は雑音特性を劣化させるため一長一短があ 9

【発明が解決しようとする課題】光ファイバ通信ではEr 添加光ファイバ増幅器が普及しているが、Er-芯加光ファ 福器も一般的な半導体レーザの出力が100 から200mM 程 度であり、得られる利得は比較的小さいとか、利得が励 起光のパワーや波長の変化に敏感であり、比較的商出力 イバ増幅器にもいくつかの課題がある。また、ラマン増 のファブリベロー型の半導体レーザを用いる場合には、 [0010]

않

するための分散補償用ファイバ (DCF) を組み合わせた

これはEr添加ファイバ増幅器(EDFA)と彼長分散を補償

多機能印刷 FinePrint 2000 試用版 http://www.nsd.co.jp/share/

(OCF) で構成される光中椎器に応用して、システム毎 でき、EDFAの苗板でも使用することができるラマン増幅 【課題を解決するための手段】本発明の目的は、必要な 利得を得ることができ、利得平坦化フィルタを使用する 必要がない程度に利得の波長依存性を小さくすることが 器を提供することであり、また、このラマン増幅器をEr KEDFAを再設計する必要がなく、光中椎器の特性を劣化 させることもなく、伝送路損失やDCF 損失のばちつきを をラマン増幅することは、従来選けることのできなかっ たocr 挿入に起因する雑音特性の劣化を軽減することを 補償することもできる光中椛器を提供する。また、DCF 添加ファイバ増幅器 (EDFA) と分散補償用光ファイバ

5出力される複数の励起光と光ファイバ2 に伝播される 【0012】本発明のうち静水項1記載のラマン増福器 は図1又は図2又は図3に示す様に、複数の励起光を発 生する励起光発生手段1を備え、同励起光発生手段1か 信号光とを合波して当政信号光にラマン利得を与えるラ マン増幅器であって、前記励起光発生手段1はファブリ ベロー型、DFB 型、DBR 型の半導体レーザ又はMDPA3を 用いて構成し、各励起光はその中心波長を互いに異なる ものとし、且つ中心波長の間隔をGrum 以上35rm以下とす ることを特徴とするものである。

【0013】本発明のうち請求項2配載のラマン増幅器 は、複数の励起光は中心波長が最大のものと最小のもの との波長の差を100m 以内とすることを特徴とするもの

\$

【0014】本発明のもも請求国3記載のシャン増倡器 は図3に示す様に、励起光発生手段1は隣り合う被長の 励起光を光ファイバ2 に互いに異なる2 方向に伝播して 信号光を双方向励起する構成であることを特徴とするも

ブ内で励起光を合波する構成とし、グルーブ内で合波さ 【0015】本発明のうち請求項4記載のラマン増幅器 は図3に示す様に、励起光発生手段1は複数の励起光を 2 つのグループに分けて配置すると共に、回ーグループ 内に隣接波長の励起光が入らない様にして夫々のグルー

S

れた2つの励起光を光ファイバ2に互いに異なる2方向 に伝播する様にしたことを特徴とするものである。

【0016】本発明のうち請求項5記載のラマン増福器 は図26又は図27に示す様に、人力光又は出力光をモ ニタし、その結果に基づいて励起光発生手段1の各励起 光パワーを制御して、出力光パワーを所定値に保つ出力 光パワー制御手段4を備えることを特徴とするものであ

は図4又は図5に示す様に、ラマン利得を受けた信号光 を含む出力光をモニタし、その格果に基づいて励起光発 【0017】本発明のうち請求項6記載のラマン増幅器 生手段1の各励起光パワーを制御して、増幅器出力の波 長依存性を平坦化する出力光パワー制御手段4を備える ことを特徴するものである。

[0011]

し、各波長光のパワーを揃える様に励起光発生手段1の 各励起光パワーを制御するものであることを特徴とする 【0018】本発明のうち請求項7記載のシャン増幅器 は図4に示す様に、出力光パワー制御手段4は、出力光 を加えた彼長の彼長光に分波してそれら彼長光をモニタ から分岐したモニタ光を各励起光の波長に各々約100nm ものである。 【0019】 本発明のうち請求項8記載のラマン増幅器 は図5に示す様に、出力光パワー制御手段4は、出力光 それらから各励起光の波長に各々約100m を加えた波長 光を透過させて名彼長光をモニタし、名彼長光のパワー を崩える様に励起光発生手段1の各励起光パワーを制御 から分岐したモニタ光を更に励起光と同数に分配して、 するものであることを特徴とするものである。

【0020】本発明のうち請求項8記載のラマン増福器 は図28に示す様に、入力光パワーと出力光パワーとを モニタし、それらの比が一定になる様に励起光発生手段 1の各励起光パワーを制御して、利得を所定値に保つ出 力光パワー制御手段4を備えることを特徴とするもので 8

【0021】本発明のうち請求項10記載のラマン増幅 器は図1又は図2又は図3化示す様化、励起光発生手段 イバグレーティング等の彼長安定化用の外部共振器5を 1 はファブリベロー型の半導体レーザ3の出力側にファ 設けて構成することを特徴とするものである。

【0022】本発明のうち請求項11記載のラマン増幅 |はファブリベロー型の半導体レーザ3の出力側に励起 光を偏波合成するための偏波合成器6を設けて構成する 器は図1叉は図2叉は図3に示す様に、励起光発生手段 ことを特徴としたものである。

【0023】本発明のうち請求項12記載のラマン増幅 器は図1又は図2又は図3に示す様に、励起光発生手段 |は複数の波長のファブリベロー型、OFB型、OBR型の する平面光波回路型波長合波器を設けて構成することを **半導体レーザ又はMOPAをマッハツェンダ干渉計を原理と** 特徴とするものである。

【0024】本発明のうち請求項13記載のラマン増幅 器は図6 (a) 又は図8 (b) に示す様に、偏波面を90 度回転する偏波面回転手段7を備え、光ファイバ2に励 超光発生手段1で発生された複数の励起光と前記偏波面 回転手段7亿より発生された前記各励起光と偏波面が直 交する励起光とが同時に存在する様にしたことを特徴と \$ 5 60 0 5 5. 【0025】本発明のうち請求項14記載のラマン増幅 【0026】本発明のうち請求項15記載のラマン増幅 路は、増幅用の光ファイバ2が伝送路の一部として存在 器は、増幅用の光ファイバ2は非線形屈折率n2が3.5E・ 20 [mz / w] 以上であることを特徴とするものである。 するものであることを特徴とするものである。 [0027] 本発明のうち請求項16に記載のラマン増 訳がSvF と-20ps/m//m 未遊の分散を持つファイバを接 続して構成されたものであることを特徴とするものであ 幅器は増幅用ファイバ2が伝送路となっており、その内

幅器は増幅用ファイバ2が伝送路となっており、その内 【0028】本発明のうち間水項17に記載のラマン増 訳がSvF と-20ps/rm/fcm 未満の分散を持つファイバを接 続して構成されたものであり、-20ps/mm/km 未満の分散 を持つファイバからSuf へ向って励起光が伝描すること を特徴とするものである。 【0029】本発明のうち請求項18記載のラマン増幅 器は、増幅用の光ファイバ2が信号光を伝播するための イバ中に挿入可能なラマン増幅用ファイバとして存在す 伝送用ファイバから独立したものであり、同伝送用ファ るものであることを特徴とするものである。 【0030】本発明のうち請求項19記載の光中機器は 図7に示す様に、光ファイバ伝送路8中に抑入されて同 マン増幅器 9を備え、同ラマン増幅器 9で光ファイバ伝 光ファイバ伝送路8における損失を補償する光中整器で あって、請求項1乃至請求項14のいずれかに記載のラ 送路8における損失を補償する様成であることを特徴と するものである。 [0031] 本発明のうち請求項20に記載の光中機器 は図29~図32に示す様に、ラマン増幅器9の残留励 8 にわけるラマン増幅効果を利用することを特徴とする 超光を光ファイバ伝送路8に入射し、光ファイバ伝送路

後両段に希土類添加ファイバ増幅器10を備えることを 【0032】本発明のうち請求項21 記載の光中機器は 図8に示す様に、ラマン増幅器9の前段又は後段又は前 特徴とするものである。 [0033] 本発明のうち静水項22記載の光中雄器は 図33~図36に示す様に、ウァン増幅器9の残留励起 光を希土類添加ファイバ増幅器10の励起光として利用 することを特徴とするものである。

【0034】本発明のうち静水項23記載の光中整器は

9

存取2000-98433

戦のラマン増幅器9を備え、その光ファイバ2に分散権 質用ファイバを用いて光ファイバ伝送路8 における波長 同光ファイバ伝送路8における波長分散を補償する光中 椎器であって、請求項1乃至請求項14のいずれかに配 イバ2における損失の一部又は全てを補償することを特 図45に示す様に、光ファイバ伝送路8中に挿入されて 分散を補償し、光ファイバ伝送路8及び増幅用の光ファ 徴とするものである。 【0035】本発明のうち静水項24に記載の光中棋器 は図29~図32に示す様に、ラマン増幅器9の残留励 起光を光ファイバ伝送路8に入射し、光ファイバ伝送路 8 におけるラマン増幅効果を利用することを特徴とする 5のである. ន

[0038] 本発明のうち請求項25記載の光中概器は 後両段に希土類添加ファイバ増幅器 10を備えることを 図8に示す様に、ラマン増幅器9の前段又は後段又は前 特徴とするものである。 [0037] 本発明のうち請求項26記載の光中概器は 図33~図36に示す様に、ラマン増幅器の残留励起光 を希土類添加ファイバ増幅器10の励起光として利用す ることを特徴とするものである。 2

【0038】本発明のうち請求項27記載の光中推器は 2への入力レベルの変動や同ファイバ2における損失の て、当該光ファイバ2からの出力を所定値に保つ制御手 図9に示す様に、分散補償用ファイバである光ファイバ 変動を同光ファイバ2 における ラマン増幅により 補償し 段を備えることを特徴とするものである。

[0039] 本発明のうち請求項28記載の光中整器は パ2にわける損失又は利得を同光ファイバ2におけるラ 図10に示す様に、分散補償用ファイバである光ファイ マン増幅により補償して一定に保つ制御手段を備えるこ

ち、ラマン増福器9の利得によって中枢器の利得を調整 [0040] 本発明のうち請求項29記載の光中推器 は、希土類添加ファイバ増幅器10の利得を一定に保 とを特徴とするものである。

[0041] 本発明のうち請求項30記載の光中整器は 図11に示す様に、希土類添加ファイバ増幅器10の利 得の波長依存性をラマン増幅器9の利得の波長依存性を 使って補償する様にしたことを特徴とするものである。 する様にしたことを特徴とするものである。 \$

図8に示す様に、光ファイバ伝送路8中に挿入されて同 光中群器であって、励起光の波長が単一であるラマン地 [0042] 本発明のうち請求項31記載の光中雄器は 光ファイバ伝送路8における損失と液長分散を補償する 幅器8を備え、同ラマン増幅器8の前段又は後段又は前 後両段に希土類添加ファイバ増幅器10を備えることを 特徴とし、シャン物価器9の増信用の光ファイバ276分 **枚補償用ファイバを用いることを特徴とするものであ** [0043] 本発明のうち請求項32記載の光中機器は

ន

存開2000-98433

存職2000-98433

図33~図36に示す様に、ラマン増幅器9の残留励起 光を希土類添加ファイバ増幅器10の励起光として利用 することを特徴とするものである。

【0045】本発明のうち請求項34に記載の光中継器 福用の光ファイバ2への入力レベルの変動や同ファイバ 2 における損失変動を同ファイバ2 におけるラマン増幅 により補償して、当数光ファイバ2からの出力を所定値 は図10に示す様に、分散補償用ファイバであるラマン パ2におけるシャン増幅により補償して所定値に保つ制 【0044】本発明のうち請求項33に記載の光中椎器 は図9に示す様に、分散補償用ファイバであるラマン増 増幅用の光ファイバ2における損失又は利得を同ファイ **に保つ制御手段を備えることを特徴とするものである。 御手段を備えることを特徴とするものである。**

【0046】本発明のうち請求項35に配載の光中整器 は図11に示す様に、希土類添加ファイバ増幅器10の 利得を一定に保ち、ラマン増幅器9の利得によって中継 器の利得を調整する様にしたことを特徴とするものであ

よって変化することがない。また、誘導ブリルアン散乱 [0047]次に本発明のラマン増幅器とそれを用いた 1 記載のラマン増信器では図1、2、3に示す様に、励 光中雄器の作用について説明する。本発明のうち請求項 起光発生手段 1 に小型で比較的商出力のファブリベロー 型の半導体レーザ3を用いた場合、比較的高い利得を得 ることができ、また、ファブリベロー型の半導体レーザ 3は発版波長の標幅が広いため、励起光による黙導ブリ DBR 型の半導体レーザ又はMCPAを用いた場合、発振波長 の変動範囲が比較的小さいため、利得形状が駆動条件に ルアン散乱の発生をほぼなくすことができる。DBF 型、 の発生は変調をかけることにより抑制することができ

11 (図1、2、3) に合波効率を良くするために励起 に半導体レーザ3の帯域が含まれないようにするためには、図12k示す様に半導体レーザ3の帯域幅に3mを る。励起光の中心被長間隔を6nm 以上とする理由は、反 光間の波長間隔にいくらかの余裕をもたせることを可能 なる波皮推奨の値が3mm であった。従って、CO推製内 [0048] 更に、励起光を中心被長の間隔を6nm 以上 型の半導体レーザ3の発版帯域幅が図12に示す様に約 を別々のポートから入射し、入射光がほとんど損失を受 35cm以下とすることにより利得平坦化フィルタを必要と しない程度に利得の波長依存性を小さくすることができ 射帯域幅の狭い外部共振器5を接続したファブリベロー 3nm であることと、励起光を合彼するためのMCM カブラ にするためである。MUM カブラ11は、異なる彼長の光 **けることなく1つの出力ポートへ結合するように散計さ** れたものであるが、設計波長の中間の波長の光に対して 例えば、あるMDM カブラ11ではこの損失が大きく は、どちらの入力ポートを使用しても損失が大きくな

40

り合う波長の励起光によって得られるラマン利得帯域の 分になることに起因する。従って、励起光の中心波長の **ある。一方、図13 (a) の様に半導体レーザ3の中心** 皮長の間隔を35m以上とすると、図13(b)の様に隣 て、利得ピーク波長から15mから20m離れると利得が半 間隔を6rm 以上35m以下とすることで、利得平坦化フィ ルタを使用する必要がない程度に利得の波長依存性を小 加えた6rm が励起光の中心波長間隔の下限として適切で 中間に利得の谷ができ、利得平坦度が悪くなる。これ は、1つの励起光によって得られるシマン利得に関し さくすることができる。

め、励起光と信号光の波長は重複しないように選ばなけ 【0049】本発明のうち請求項2記載のラマン増幅器 以内とするため、励起光と信号光との波長の重複を防止 して信号光の波形劣化を防止することができる。励起光 と信号光の波長が近いと信号光の波形劣化につながるた ればならないが、励起光が1.4 μm 帯の場合には、励起 光の中心波長の最大値と最小値の差を100nm 以下とする と、図14 に示す様に1つの励起光から生じる利得の中 め、励起光と信号光との波長の重複を防止することがで では、励起光の中心波長の最大値と最小値の差を100nm 心波長とその励起光との波長の差は約100mm であるた

2

幅器では、隣り合う波長の励起光を光ファイバ2 に互い では中心被長が入,、入,、入,、入,となり間隔が6n みると中心波長が入, と入,、入,と入,となり波長間 【0050】本発明のうち請求項3、4記載のラマン増 **に異なる2方向に伝播して信号光を双方向励起する構成** れは図15 に示すように、双方向合わせた全ての励起光 m以上35m以下であるが、一方向の励起光だけについて 隔は2倍になり、WDM カプラ11の要求特性に余裕を持 としたため、図1や図2、図3に示されるMON カブラ1 1 に要求される波長特性をあまくすることかできる。こ たすことができる。

8

を制御して、ラマン増幅器の出力光パワーを所定値に保 【0051】本発明のうち請求項5記載のラマン増幅器 つ制御手段4を備えるため、ラマン増幅器への入力信号 パワーの変動やラマン増幅用ファイバの損失のばらしき その結果に基づいて励起光発生手段1の各励起光パワー では、ラマン増幅器への入力光又は出力光をモニタし、 によらず、一定の出力を得ることができる。

【0052】本発明のうち請求項6配載のラマン増幅器 のファイバグレーティング (外部共振器5)を接続した た波長の波長光をモニタし、それら波長光のパワーを描 える様に各励起光のパワーを制御するため、利得を平坦 化することができる。また、後に記載する波長安定化用 を備えるので、利得を平坦化することができる。特に請 では、ラマン利得を平坦化する出力光パワー制御手段4 (b) に示す様に各励起光の彼長に各々約100nm を加え **求項7、8記載のラマン増幅器では、図18(a)や** S

られるため、利得の制御を可能にする手段としても作用 ものでは、駆動電流の変化による中心波長の変化が抑え

幅用ファイバの損失のばらつきによらず、一定の利得を 【0053】本発明のうち請求項9記載のラマン増幅器 マン増幅器の利得を所定値に保つ制御手段4を備えるた め、ラマン増幅器への入力信号パワーの変動やラマン増 では、人力信号パワーと出力信号パワーをモニタし、 れらの比が一定になる様に励起光パワーを制御して、 得ることができる。

ができるため、最終的には、より高出力で広帯域な励起 【0054】本発明のうち請求項10記載のラマン増幅 ファイバグレーティング等の波長安定化用の外部共振器 5を散けるので、ファブリベロー型の半導体レーザ3の モードホップによる利得の変動による雑音を抑制するこ とができる。また、半導体レーザ3に波長安定化用の外 部共振器5を接続すると、1つの励起光源について見る と帯域幅を狭くすることになるが、NGM カブラ11(図 2、3)で合波する際に、波長間隔を狭くすること **器では、ファブリベロー型の半導体レーザ3の出力側に** 光が得られる。

器では、半導体レーザ3の励起光を各波長毎に偏波合成 り利得が変動するが、直線偏波の励起光源を偏波面が直 すると同時にファイバに入射される励起光パワーを増加 【0055】本発明のうち請求項11記載のラマン増幅 して使用するため、利得の偏波依存性を解消すると同時 に光ファイバ2 に入射される励起光パワーを増加させる は、励起光の偏波と一致する成分のみであるため、励起 交するように合成することは、利得の偏波依存性を解消 光が直線偏波であり且つ増幅用ファイバが偏波保持ファ イバでない場合、信号光と励起光の相対偏波の変動によ ことができる。ラマン増幅において利得が得られるの させることになる。

励起光を広帯域化し、その結果としてラマン利得を広帯 【0057】本発明のうち請求項13記載のラマン増幅 生された複数の励起光とそれらと偏波面が直交される励 起光とが同時に存在する様にしたため、原理的には、信 得ることができる。ラマン増幅の帯域は、励起光の帯域 で合波することは、増幅用の光ファイバ2 に入射される 波器を使用するため、複数の波長のファブリベロー型の 半導体レーザを多数合波する場合にも、極めて低損失で 器では、図6に示す様に偏波面を90度回転する偏波面回 転手段7を備え、光ファイバ2に励起光発生手段1で発 号光の偏波面がいかようであろうとも常に一定の利得を に依存するため、複数の波長の励起光をMCM カブラ11 【0056】本発明のうち請求項12記載のラマン増幅 型の半導体レーザ又はMDPAを合波する手段として、マッ ハツェンダ干渉計を原理とする平面光彼回路型の波長合 器では、複数の波長のファブリベロー型、DFB型、DBR 合波することができ、南出力な励起光が得られる。

【0058】本発明のうち請求項14記載のラマン増幅

域化することになる。

器では、光ファイパ2 に非線形屈折率n2が3.5 E - 20

[m2 / w] 以上のものを使用するため、これまでの研究

による成果であるが、十分な増幅効果が得られる。

るための伝送用ファイバの一部として存在するので、伝 [0059]本発明のうち請求項15乃至請求項17記 送用光ファイバにそのまま増幅器を構成することが可能 【0060】本発明のうち請求項18記載のラマン増幅 散のラマン増幅器では、光ファイバ2は信号光を伝播す

器では、光ファイバ2は信号光を伝播するための伝送用 や、波長分散補償用ファイバを利用することが容易にで ファイバと独立された、同伝送用ファイバ中に挿入され るラマン増幅用ファイバとして存在するため、光ファイ パ2 にラマン増幅に適した光ファイバを利用すること き、また集中型増幅器を構成することができる。

補償するため、請求項1乃至請求項18に記載のラマン マン増幅効果を利用することにより、光ファイバ伝送路 は、ラマン増幅器を用いて光ファイバ伝送路8の損失を [0062] 本発明のうち請求項20及び請求項24記 イバ伝送路8に入射し、光ファイバ伝送路8におけるラ ttの光中椎器では、ラマン増幅器の残留励起光を光ファ 増幅器の作用を持つ光中様器を得ることができる。 2

【0061】本発明のうち請求項19記載の光中整器で

は、ラマン増倡器の前段又は後段又は前後両段に希土類 び希土類添加ファイバ増幅器 10で光ファイバ伝送路8 [0063] 本発明のうち請求項21記載の光中整器で 添加ファイバ増幅器9を備え、これらラマン増幅器8及 の損失を補償するため、様々な伝送系に適する所望の増 8の損失の一部を補償することができる。 8

賞の光中椎器では、ラマン増幅器の残留励起光を希土類 [0064] 本発明のうち請求項22及び請求項26記 添加ファイバ増幅器 10の励起光として利用することに より、使用する半導体レーザの数を減らすことができ **個特性を得ることができる。**

【0065】本発明のうち請求項23に記載の光中推器 バ伝送路8の波長分散を補償し、光ファイバ伝送路8及 では、ラマン増幅器9の光ファイバ2に分散補償用ファ び増幅用ファイバ2における損失の一部又は全てを補償 イバを用いてなるため、当数ラマン増幅器9 C光ファイ

9及び希土類添加ファイバ増幅器10で光ファイバ伝送 [0066] 本発明のうち請求項25記載の光中機器で は、ラマン増幅器9の前段又は後段又は前後両段に希土 頃添加ファイバ増幅器 10を備え、これらラマン増幅器 88の損失と波長分散を補償するため、様々な伝送系に **適する所望の増幅特性を得ることができる。** することができる。

[0067]また、本発明のうち、ラマン増幅器9と希

S

ව

特開2000-98433

されたラマン増幅器を用いた光中雄器の測定例を示し

ことを、ラマン増塩器9の増塩用ファイバにCCF を用い と場合を例として説明する。図17は従来の光中棋器の 役計パラメータの例であり、システム毎にの、 公が異な っている。また、中椎器入力とDCF 損失は、中椎器の間

領々なシステムに適応できる中棋器を得ることができる

土類添加ファイバ増幅器10を組み合わせた構成では、

号光入力ファイバ12と、増幅用ファイバ(光ファイバ)2、WM カブラ13、励起光発生手段1、モニタ光 (発明の実施の形態] (ラマン増幅器の実施形態1)図 |は本発明のラマン増幅器の第1の実施形態であり、信 分配用カブラ14、モニタ信号検出及びLO制御信号発生 回路15、信号光出力ファイバ16、偏波無依存アイソ レータ25から構成されている。ここでモニタ光分配用 カブラ14とモニタ信号検出及び山制御信号発生回路1 5は出力光パワー制御手段4を構成している。

明のばらつきやDCF のばらつきにより、変動することが

掛けられない。この変動はEDFAの利得の変動に直結して

8り、その利得の変化が平坦度の劣化につながる。図1

8 はEDFAの利得と平坦度の関係を模式的に示したもので

あるが、平坦度の最適化は使用帯域と平均利得を限定し

と、利得の波長依存性が変化して平坦度が劣化する。平

て行われるため、平均利得が最適化した点からずれる

れる必要がある。従来は、入力レベルやDCF 損失の変動 図19(a)に入力レベルの変動に応じて、可変減設器 る例と、図19 (b) にpcf の損失の変動に応じて、減 ちちの場合も2つのEDFAは利得一定となっている。しか

を補償する手段として、可変減较器が用いられてきた。

坦度の劣化を避けるためには、EDFAの利得は一定に保た

[0071] 励起光発生手段1は、ファブリベロー型の と、ファイバグレーティング5,、5,の透過波長は共 定化用のファイバグレーティング (外部共振器) 5 (5 , 、 5, 、 5, 、 5,)と、偏波合成カブラ(偏波合成 器) 6 (6, 、6,) と、WCM カブラ11とから構成さ に同じ彼長と、ためり、半導体レーザ3,、3,の中心 彼長と、ファイパグレーティング5,、 5, の透過彼長 イング5,、5,、5,、5,の作用により中心波長が λ, 、λ, に安定化されるようにしてある, また前記波 3,、3,の発振波長は彼長安定化用ファイバグレーテ 半導体レーザ3 (3, 、3, 、3, 、3,) と、彼長安 は共に同じ被長 7, であり、半導体レーザ3,、3,、 れている。ここで半導体レーザ3,、3,の発版波長 長入、と入、の彼長間隔は6m 以上35m以下としてあ

> 数量を調整し、中間損失を一定に制御する例を示す。 ど しながら、この方法では、可変減取器によって無駄な損

の減效量を調整し、DCF への入力レベルを一定に制御す

ltをDGF のラマン増幅効果で補償することによって、ED

【0068】本発明では、中棋器の設計バラメータの変

失を加えるため雑音特性上不利である。

FAの利得を一定に保ち、システム毎にEDFAを設計する必 要性をなくし、且つ平坦度も雄音特性も犠牲にすること て、DGF のシマン増幅効果を適用した場合のEDFAの設計

なく、中格器間隔のばらっきやDCFのばらっきを補償す

ることができる。図20は図17の中根器仕様に対し

てとによって、3つの仕様に対して要求されるEDFAO特

値を示したものである。DCF のラマン利得を適当に選ぶ

の利得を変化させることなく、ラマン利得を変化させる

EDFAの利仰を一定に保ちして、ICF の出力アベルが一定 自体の損失をラマン増幅で補償することは、従来避

になるようにラマン増幅利得を調整している。さらに

ことによって補償することができる。いずれの場合も、

(b)に示す様に入力レベルやDCF 損失の変動は、EDFA

性を共通にすることができる。また、図21(8)、

けることのできなかったOCF 抑入に起因する維音特性の の劣化量と同じDGF を用いたラマン増幅器を挿入した場

劣化を軽減する。図37にDCF増入した場合の維音指数

[0069] 本発明のうち請求項29~35に記載の光 中群器では、励起光の波長が単一であるラマン増幅器を 備えるため、複数の波長で励起されたラマン増幅器を備 えた光中格器と比較すると動作範囲が狭い構成が単純で **帯域幅以外はこれまでに述べた光中模器と回等の特性を** 得ることができる。図38、図39に単一波長で励起さ

合の維音指数の劣化量の測定値を示す。

光がMCN カブラ11で合彼されて励起光発生手段1の出 力光となるようにしてある。 半導体レーザ3から偏波合 用ファイバ2に結合され、一方、信号光(放長分割多重 光)は信号光入力ファイバ12より増幅用ファイバ2に 入射され、同増幅用ファイバ2 で励起光発生手段1の励 し、モニタ光分岐用カブラ14において、その一部はモ 成カプラ6で個液合成され、各個液合成カプラ6の出力 励起光発生手段1の出力光はWCM カブラ13により増幅 ニタ信号として分岐され、残りは信号光出力ファイバ1 8へ出力される。前記モニタ信号はモニタ信号枚出及び 山制御信号発生回路15において監視され、同回路15 は信号波長帯域内の利得偏差が小さくなるように各半導 [0072] 前記半導体レーザ3,、3,、3,、3, て発生される励起光はその波長入い、入、ことに偏波合 成カプラ6の間は偏波面保存ファイバ17で接続され、 超光と合彼されてラマン増幅され、MOMプラ13を通過 国汝面が異なる2つの励起光が得られる様にしてある。 体レーザ3の駆動電流を制御する信号を発生する。

入力される信号入力ファイバ12をそのまま延長して用 いても良い。また、be当たり-20ps/me未満の分散を持つ [0073] 前記増幅用ファイバ2はラマン増幅に適し [m2 / W] 以上であるものを用いても良いし、信号光が た特殊ファイバ、例えば非線形屈折率n2が3.5 E - 20

ន

れたラマン増信器を用いた光中棋器と複数の波長で励起

Reverse Dispersion Fiber)をSAF につなぎ、伝 M カブラ13、モニタ光分岐用カブラ14、モニタ信号 (一般にRDF は-20ps/m未満の分散を持つためにSAF の な構成とし、増幅用ファイバ2や励起光発生手段1、WD **長さと間程度から2倍の長さで使用すると良い。) この** 検出及びLの制御信号発生回路15を一式組み込んで集中 このラマン増幅器は増値用ファイバ2を信号光が伝送さ れる図示されていない伝送用ファイバに接続・挿入可能 ような場合には、ラマン増幅用の励起光がRDF からSMF へ向って伝播するような構成とするのが好都合である。 送路を兼ねた増幅用ファイバとして使用してもよい。 型ラマン増幅器を構成することもできる。

スペクトルを避定したものである。この避定で用いた励 起光波長入, 、入, は1435mmと1465mm、 佰母光は-20dBm 【0074】図22は図1のラマン増幅器における出力 福用ファイバ2は約6~の分散補償用ファイバで、チャ ンネル間偏差を0.5dB 以内に保ちつつ、分散補償用ファ イバの損失を補償するように励起光のパワーが調整され /ch1240rmから1260nmの間に毎間隔に8波入力した。増

実施形態1の構成と比較して、信号光の雑音特性が良い 明のラマン増幅器の第2の実施形態であり、励起光発生 【0075】(ラマン増福器の実施形態2)図2は本発 手段1からの励起光が増幅用ファイバ2を信号光と同じ 向きに進行されるように構成されたものである。具体的 には増幅用ファイバ2の前端側にMCM カブラ13が設け られ、励起光発生手段1からの励起光がMCM カブラ13 を介して増幅用ファイバ2の前端 (入力端)側から後端 (出力雄) 倒へと伝送されるようにしたものである。 こ ことがわかっている。また、実施形態1の構成と比較す の構成では、信号の減衰が超こる前に増幅されるため、 ると利得が小さいこともわかっている。

[0078] (ラマン増幅器の実施形態3) 図3は本発 明のラマン増幅器の第3の実施形態であり、励起光発生 手段 1 からの励起光が増幅用ファイバ2を双方向に進行 されるように構成されたものである。具体的には、増幅 用ファイバ2の前端側と後端側とに夫々MDM カブラ13 が散けられ、2つのグルーブに分けられた励起光発生手 段1からの励起光が夫々のMCM カブラ13を通じて増幅 用ファイバ2に結合され、前蟷側のMDM カブラ13に入 れ、後猫厨のMCM カブラ13に入力された囫囵光が楢幅 用ファイバ2の前端側に進行されるようにしたものであ 力された励起光が増幅用ファイバ2の後端側に進行さ

プAに属する半導体レーザ3,、3,と笄2のグループ Bに属する半導体レーザ3,、3,の中心波長はいずれ も回じであり、 第1のグループAに属する半導体レーザ , 3。の中心被長はいずれも同じである。また、ファ 【0077】前記励起光発生手段1のうち第1のグルー 3, . 3, と第2のグルーブBに関する半導体レーザ3

イパグレーティング5,~5。は夫々が接続される半導 存職2000-98433 9

体レーザ3の中心液長に合わされている。

【0078】(ラマン増幅器の実施形態4)前記図3の **る半導体レーザ3,、3,中心液長を入3、第2のグル** 1、同グループBに属する半導体レーザ3,、3,の中 心波長をえ、とし、え、、え、、み,、み,を互いに瞬 中心被長の間隔は10m以上30m以下であり、最大の中心 彼長 A. と最小の中心被長 A. との登は100mm 以下であ る。このような構成では同一グループ内で合波する励起 実施形態において、第1のグルーブAに属する半導体レ ーザ3,、3,の中心波長を2,、回グループAに属す 光の波長間隔に会裕を持たすことができ、WDM カブラ4 ーブBに属する半導体レーザ3,、3,の中心被長をA り合う波長として構成することもできる。この場合も、 ន

【0079】(ラマン増幅器の実施形態5)図40は本 発明のラマン増幅器の第5の実施形態であり、前記各実 遊び、それらを多段接続したものである。所望の増幅特 性や雑音特性に合わせて、特徴の異なるラマン増幅器8 を遊切に選択することで、単一のラマン増幅器9では得 **簡形態で説明したテマン増幅器9の中から適当なものを** られない特性を得ることができる。 2

に要求される性能を甘くすることができる。

は、励起波長が1430rmと1460rmとならば、1530rmと1560 した彼長光を領気信号に変換するもので、受光レベルの [0080] 前配各実施形態において、出力光パワー制 なるモニタ信号検出及びLudl御信号発生回路15が接続 されたものである。被長分波器18はモニタ光分岐用カ rm付近の波長光を分波する。光/電変換手段19は受光 大小に応じて出力電圧が変化される。12動御回路20は る。図4の構成は、図1又は図2又は図3に示したモニ タ光分岐用カブラ14に、被長分波器18とホトダイオ ード等の光/電変換手段19と、LI制御回路20とから この場合、個々の励起光による最大増幅波長(励起光波 母に100nm を加えた波長)付近の光を分波し、具体的に ザ3の駆動電流を変化するものであり、光/電変換手段 19からの出力電圧を演算処理して、前記各波長光の光 光/電変換手段19からの出力電圧に広じて半導体レー 出力光パワー制御手段4はラマン利得の波長依存を解消 ブラ14で分岐された出力光を複数の波長光に分波し、 パワーを描える様に半導体レーザ3を制御する。即ち、 御手段4は図4又は図5に示す構成とすることができ 8 \$

【0081】図5の構成は、図1又は図2又は図3に示 変換手段19と、LD制御回路20とからなるモニタ信号 検出及びLD制御信号発生回路15が接続されたものであ る。分岐カブラ21はモニタ光分岐用カブラ14で分岐 パンドパスフィルタ22と、ホトダイオード等の光/電 したモニタ光分岐用カブラ14に、分岐カブラ21と、 された出力光を励起光の数と同数に分岐するものであ して利得を平坦化する働きをする。

る。パンドパスフィルタ22は天々透過中心波長が異な

ន

多機能印刷 FinePrint 2000 試用版 http://www.nsd.cojp/share/

ខ្ព の光パワーを描える様に半導体レーザ3を制御する。即 り、この場合、個々の励起光による最大増幅波長(励起 1560mm付近の放長光を透過する。光/電変換手段19は 受光した波長光を電気信号に変換するもので、受光レベ 0は光/電変換手段19からの出力電圧に応じて半導体 レーザ3の駆動電流を変化するものであり、光/電変換 手段19からの出力電圧を演算処理して、前記各波長光 ち、出力光パワー制御手段4はラマン利得の波長依存を 解消して利得を平坦化する働きをする。図4、5は図2 7 に示す様に出力光をモニタして励起光発生手段 1 を制 御する構成であるが、図26に示す様に入力光をモニタ き、或いは図28に示す様に出力光と入力光とを共にモ ニタして励起光発生手段1を制御する構成とすることも 光波長に100nm を加えた波長)付近の光を透過し、具体 **ルの大小に応じて出力電圧が変化される。U側询回路2 竹には、励起波長が1430mと1460mとならば、1530mと** して励起光発生手段 1 を制御する構成とすることもで

[0082] 前記各構成のラマン増幅器においては、励 (a)、(b)に示す様に励起光の偏波面を30度回転す 超光を偏波合成カプラ6で合成する代わりに、図6

20

ァイバ2 に伝播された励起光を偏波面を90度回転し、再 できる。図6(a)は増幅用ファイバ2の一端にファラ デーロータ3, と全反射ミラー3, を設けて、増幅用フ る偏波面回転手段7を設け、増幅用ファイバ2に励起光 発生手段1で発生された複数の励起光とそれらと偏波面 が直交される励起光とが同時に存在する様にすることも び増幅用ファイバ2に戻す様にしたものであるのであ

された信号光を同ファイバ2から取り出すための手段は ァイバ2の一端から出力される励起光を主軸が90度振ら れて接続された偏波面保持ファイバ34により偏波面を 90度回転し、再びPBS 33を通じて増幅用ファイバ2の 同図には増信用ファイバ2に伝播されてラマン増幅 示していない。図6(b)は増幅用ファイバ2の一緒に PBS 33と偏波面保持ファイバ34とを設け、増塩用フ 一端に入力するようにしたものである。

テイバ伝送路8 における損失を補償する光中推器の例で 増幅器9の後段に希土類添加ファイバ増幅器(以下、ED ある。この光中推器は図1、2、3に示した様なラマン FAと記載する)10が接続されており、光ファイバ伝送 [0083] (光中椎器の実施形態1)図7は本発明の **ラマン増幅器を用いて構成された光中椎器の第1の実施** 形骸であり、光ファイバ伝送路8中に挿入されて同光フ イバ伝送路8に出力される様にしたものである。利得調 数はシャン増幅器9回で調整しても、EDFAI0側で調整 增幅され、更にEDFA10に入力されて増幅され、光ファ しても、その両方で調整しても良いが、全体で光ファイ バ伝送路8の損失が補償される様にする。また、EDFA1 88に伝送される信号光がラマン増幅器9に入力されて

学性との違いをうまく合わせて、EDFA10が持つ利得の **皮長依存性をラマン増幅器 9の波長依存性により低減す** ることも可能である。

[0084] (光中推器の実施形態2)図8は本発明の ラマン増幅器を用いて構成された光中整器の第2の実施 形態であり、図7の光中椎器において、ラマン増幅器9 O前段にもEDFA10を設けたものである。

[0085] (光中整器の実施形態3)図9は本発明の **ラマン増幅器を用いて構成された光中維器の第3の実施** 形態であり、2つのEDFAI 0の間に分散補償ファイバ

妓する分岐カブラ23と、その分岐光をモニタしてラマ 及びLI制御信号発生回路24ほラマン増幅器9の出力バ 信号発生回路24とが設けられている。モニタ信号検出 (DCF)を増幅ファイバ2として用いるラマン増幅器 B が数けられたものである。ラマン増幅器9とその後段の EDFA10との間には、ラマン増塩器9からの出力光を分 ン増幅器9の利得を制御するモニタ信号検出及びLD制御 ワーを所定値に保つことができるような制御回路であ

る。なお、ラマン増幅器9自体が図4や図5に示す出力 光パワー制御手段4を備える場合は、出力光のパワーが 所定値になるように制御されると同時に、複数の出力信 与間のレベル偏差が小さくなるようにも励起光のパワー が制御される。

均幅器9の利得の変動で補償される。つまり、中機器利 【0086】図9の光中整器では、ラマン増幅器9の出 力光レベル、即ち第2のEDFA10への入力光レベルがCC となく、常に一定に保たれる。これは、中継器の出力が 失変動などに起因する第2のEDFA10の利得平坦度劣化 が回避される。また、第1のEDFA10が利得一定となる ように制御するならば、中継器への入力の変動はラマン 得の調整はラマン増幅器9の利得のみで行われることと なり、EDFA10の利得変動による平坦度の劣化を完全に 規定されている場合に、第2のEDFA10の利得が一定に 保たれるということを保証する。これにより、OCF の損 F の損失や第1のEDFA10の出力レベルに影響されるこ 回避することができる。

つように励起光を制御することができ、これはIXF の損 [0087] (光中整器の実施形態4)図10は図9の 実施形態において、第1のEDFA10とラマン増幅器9と の間にも光レベルをモニタしてラマン増幅器9の利得を て、ラマン増幅器9の入力と出力のレベル差を一定に保 **調整する制御手段を付加したものである。これを用い** 失ばらつきのみを補償することができる。

[0088] (光中椎器の実施形態5)図11は上記実 **施形態において、ラマン増幅器 9 内に設けられている利** 得平坦化モニタ機構を中棋器の出力端に移し、中継器全 **に均衡と出力―に制御のどちらたも様わない。中格器出** 力における出力信号間のレベル偏差が小さくなるように この場合、第1のEDFA10及び第2のEDFA10は利得一 体の利得を平坦化するモニタとして利用する例である。

[0089] (光中推器の実施形態6) 本件発明の光中 ァイバ2 に分散補償ファイバを使用して、光ファイバ伝 送路8の波長分散を補償し、光ファイバ伝送路8及び増 個用ファイバ2 における損失の一部又は全てを補償する **整器は図1~図3に示す構成のラマン増幅器の増幅用フ** 各励起光のパワーが個別に制御される。 光中楷器を構成することもできる。

光発生手段 1を使用したラマン増幅器 9を備えた光中継 [0090] (光中雄器の実施形態7) 前記光中椎器の 各実施形態において、図41から図44に示す様な励起 器を構成することもできる。

9

MXN カブラ13を挿入し、増幅用ファイバ2に伝播され ブラ27を通じて同伝送路8に入財し、光ファイバ伝送 なお、図28~図32において26は光アイソレータで に示す様にラマン増幅器9の増幅用ファイバ2の途中に る励起光発生手段1からの残留励起光をラマン増幅器9 の入力側又は出力側の光ファイバ伝送路8 に散けたMDM [0091] (光中様器の実施形態8)図29~図3, 路8においてもラマン利得を生じさせることができる。

[0092] (光中株器の実施形態8)図3, ~図36 に示す様に、光中椎器がラマン増幅器9とEDFA10とか 射し、同EDFA10の励起光/補助励起光とすることがで きる。なお、図33~図36において26は光アイソレ らなる場合、ラマン増幅器9の増幅用ファイバ2の途中 れる励起光発生手段1からの残留励起光をEDFA10に入 にMDM カブラ13を挿入し、増幅用ファイバ2に伝播さ ータである。 【発明の効果】以上述べたように、本発明のラマン増幅 ルタを使用する必要がない程度に利得の波長依存性が小 ることも可能である。EDFAとの組み合わせで構成される よるEDFAの利得変動を抑え、利得平坦度の劣化を回避す 器では、中心波長の間隔が6m 以上35m以下であり、中 心波長の最大値と最小値の差が100mm 以内であるように さくかつ利得が変化しても平坦度を保つことのできる光 増幅器を提供することができる。また、この増幅器は伝 励起光顔の波長を選択することにより、利得平坦化フィ 送路の損失と彼長分散を補償する光中離器として応用す 中椎器においては、中椎器の入力変動やDCF 損失変動に ることができ、様々なシステムに適応することができ

【図2】本発明のラマン増幅器の第2の実施形態を示す 【図1】本発明のラマン増幅器の第1の実施形態を示す 図面の簡単な説明】

[図4] 本発明のラマン増幅器における出力光パワー制 50 【図3】本発明のラマン増幅器の第3の実施形態を示す

9

特開2000-98433

助手段の第1の例を示すプロック図。

[図5] 本発明のラマン増幅器における出力光パワー制 卸手段の第2の例を示すプロック図。

[図6] (a)、(b) は本発明のラマン増幅器におけ 【図7】本発明の光中椎器の第1の実施形態を示すプロ 5.偏波面回転手段の異なる例を示すプロック図。

【図8】本発明の光中椎器の第2の実施形態を示すプロ

[図9] 本発明の光中椎器の第3の実施形態を示すプロ

[図10] 本発明の光中椎器の第4の実施形態を示すブ 【図11】本発明の光中椎器の第5の実施形態を示すブ ロック図。

【図12】励起光の波長間隔を6nm 以上にする理由を示 ロック図。

[図13] (a)、(b)は励起光の波長間隔を35m以 下にする理由を示した説明図。 ノた説明図

【図14】励起光の最大波長と最小波長との差を100nm 以下にする理由を示した説明図。

2

[図15] 双方向励起における励起光の波長配列の例を 示した説明図。

[図16] (a) は励起光パワーを一定とする場合の帯 数利得を示した説明図、(b)は励起光パワーを制御し C帯域利得を平坦化する様子を示した説明図

[図17] (a)、(b)は光中椎器の設計に関係する 特性を示した説明図。

【図18】EDFAの利得変動と平坦度劣化の関係を示した റ്റ

[0093]

【図19】(3)は可変複複器による入力レベル変動の **補償の様子を示した説明図、(b)は可変減衰器による** XF 損失変動の補償の様子を示した説明図。

[図20] (a)、(b) はDCF ラマン増幅効果を利用 [図21] (a) はラマン増幅効果による入力レベル変 動の補償の様子を示した説明図、(b)はラマン増幅効 【図22】 ラマン増幅器による出力スペクトルの異なる 果によるDCF 損失変動の補償の様子を示した説明図。 した光中機器の設計に関係する特性を示した説明図。

【図23】EDFAによる利得の波長依存性を示した説明 倒を示した説明図。

6

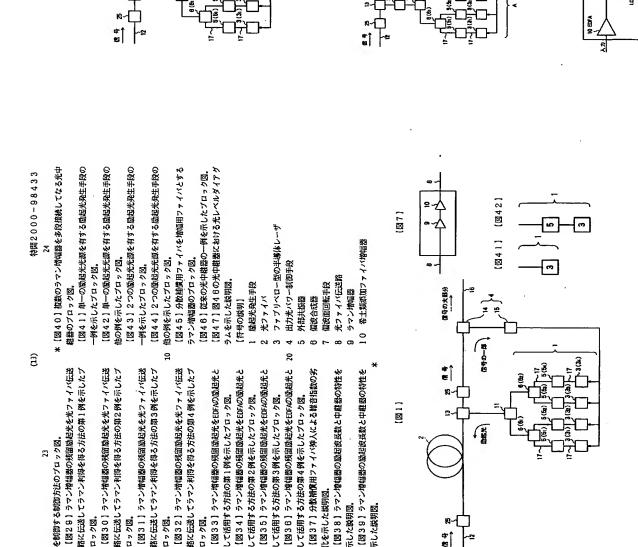
[図25] ラマン増幅による利得の波長依存性を示した 【図24】EDFAによる利得の変動を示した説明図。

[図27] 出力光をモニタして出力光パワーを制御する [図26] 入力光をモニタして出力光パワーを制御する 対御方法のブロック図。

[図28] 入力光と出力光とをモニタして出力光パワー 制御方法のブロック図。

ն

)が持つ利得の波長依存性と、ラマン増幅器9の波長依



[图3]

特限2000-98433

3

[図2]

日本の大部分

£√3

多機能印刷 Fine Print 2000 試用版 http://www.nsd.co.jp/share/

[図10]

(6⊠)

多機能印刷 FinePrint 2000 試用版 http://www.nsd.co.jp/share/

多機能印刷 FinePrint 2000 試用版 http://www.nsd.co.jp/share/

1580

1560

1550

540

1530

Wavelength [nm]

[図24]

nisə

特開2000-98433

(61)

[图23]

(mn) nisə 3 % % % % % % % % 8 伝送器

のもない。

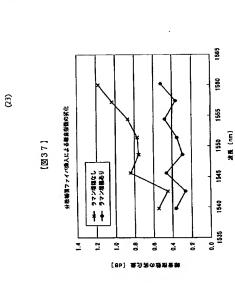
9 カムン(中央)

超级证 8

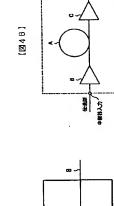
[图40]

多機能印刷 FinePrint 2000 試用版 http://www.nsd.cojp/share/

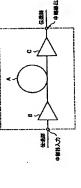


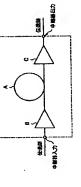


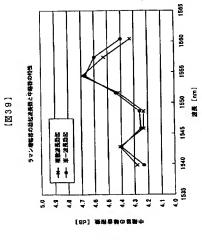
1560 1555 **ラマン様信券の総批選及数と中継券の格性** 1550 建築 [nm] [88] 545 55 1535 32.0 31.5 31.0 30.6 30.0 20.5 28.0 28.5 [8P]



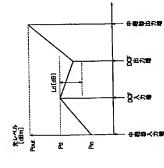
[图45]







[図47]



(34)

多機能印刷 Fine Brint 2000 試用版 http://www.nsd.co.jp/share/